

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian pola aliran pada pipa mini dengan kemiringan 30° dengan fluida kerja dalam bentuk campuran udara-aquades dan butanol 3% dilakukan setelah percobaan dilakukan dan hasil penelitian didapatkan. Penelitian ini berfokus pada pembahasan tentang pola aliran yang terbentuk, peta pola aliran, fraksi hampa, gradien tekan dan perbandingan yang dilakukan oleh peneliti yang terdahulu.

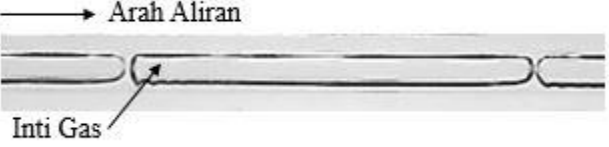
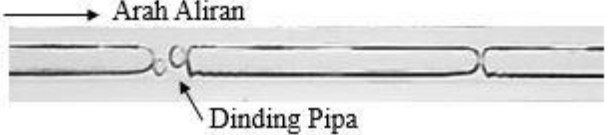
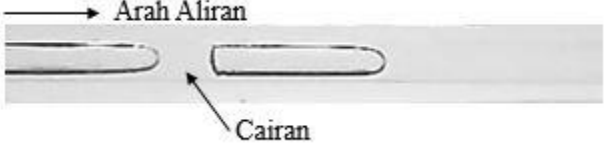
4.1. Pola Aliran

Penelitian aliran dua fasa pada pipa mini dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan kemiringan 30° dengan fluida kerja berupa campuran udara-aquades dan butanol 3%. Dengan mengatur debit fluida gas (J_G) dan debit fluida cair (J_L) selanjutnya dilakukan pengambilan data yang diperoleh berupa video kemudian diidentifikasi pola apa yang terdapat pada video yang telah diambil sebelumnya. Setelah teridentifikasi pola aliran kemudian diplot berdasarkan kecepatan superfisial gas dan cair. Dari hasil indentifikasi yang diperoleh dari video terdapat lima macam pola aliran yaitu : *plug*, *bubble*, *slug-annular*, *annular*, dan *churn*.

4.1.1. Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* hampir sama dengan pola aliran *bubble* bedanya pola aliran *plug* bentuknya memanjang seperti kapsul atau peluru. Pola aliran *plug* terbentuk pada saat kecepatan superfisial gas cukup besar menembus suatu aliran fluida cair tapi tidak cukup besar untuk menerobos aliran fluida cair. Pola aliran *plug* terjadi saat nilai J_G lebih besar dibandingkan nilai J_L yang lebih rendah, bentuk pola aliran *plug* dipengaruhi dari kecepatan superfisial gas dan kecepatan superfisial liquid, semakin besar nilai kecepatan superfisial gas pola aliran *plug* menjadi semakin panjang sedangkan nilai kecepatan superfisial liquid semakin besar aliran *plug* semakin pendek karena volume liquid lebih banyak dari udara yang masuk ke *mixer* maka udara yang masuk mulai tertekan oleh *liquid*.

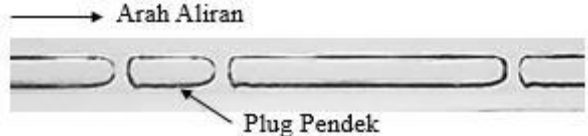

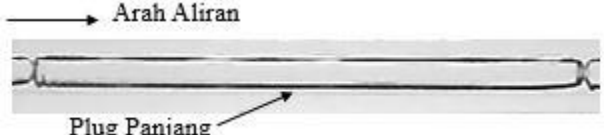
Tabel 4.1. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G tetap 0,871 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,91 m/s	
2	0,149 m/s	
3	0,232 m/s	

Ketika kecepatan superfisial cairan dinaikkan panjang dari pemisah antar *plug* semakin berjauhan. Hal ini disebabkan oleh udara yang tertekan oleh air yang mengalami peningkatan aliran *plug* yang terbentuk akan semakin pendek yang ditunjukkan pada tabel 4.1

Munculnya gelembung kecil pada aliran *plug* disebabkan nilai J_L yang sudah semakin besar pada J_L 0,149 m/s terlihat aliran *bubble* di antara aliran *plug*. Pada nilai kecepatan superfisial cairan yang bervariasi bentuk dari *plug* tidak banyak mengalami perubahan.

Tabel 4.2. Perbandingan pola aliran *plug* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,232 m/s.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,207 m/s	
2	0,423 m/s	
3	0,871 m/s	




Ditunjukkan pada tabel 4.2, jika nilai J_G dinaikkan maka panjang dari *plug* akan bertambah. Kecepatan superfisial cairan dibuat tetap 0,232 m/s dan kecepatan superfisial gas (J_G) bervariasi yang dibuat meningkat panjang *plug* akan bertambah dan semakin bertambahnya nilai J_G maka jarak antar *plug* akan sangat berdekatan dapat dilihat pada J_G 0,871 m/s jarak antara ekor *plug* dengan kepala *plug* sangat berdekatan dikarenakan semakin bertambahnya nilai J_G dan nilai J_L tetap maka udara akan berusaha untuk menrobos air yang membatasi jarak antar *plug*.

4.1.2. Pola Aliran *Bubble*

Terbentuknya pola aliran *bubble* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial udara lebih rendah dari kecepatan superfisial cairan. Dengan debit air yang lebih besar daripada debit gas menyebabkan cairan di area mixer menumpuk, oleh sebab itu aliran *bubble* muncul ketika gas yang terkumpul dibagian atas dari *mixer* menerobos cairan yang terkumpul. Semakin kecilnya saluran pada *mixer* mengakibatkan udara yang terkumpul terus mendorong cairan sehingga menyebabkan terjadinya aliran dua fase, kemudian aliran udara yang berhasil keluar seperti terpotong-potong.

Pola *bubble* yang berhasil diamati pada penelitian ini terkadang masih bercampur dengan aliran *plug*, kemunculan pola aliran seperti ini adalah ketika koordinat aliran *bubble* berada setelah nilai koordinat aliran *plug*. Munculnya aliran *bubble* penuh tanpa adanya aliran *plug*, hanya ketika nilai superfisial cairan tinggi, namun bentuk dari aliran yang muncul semakin tidak beraturan dan memiliki kecepatan yang tinggi. Dengan ditingkatkannya kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial udara aliran *bubble* maka intensitas kemunculan *bubble* semakin tinggi dan jarak antar *bubble* semakin beragam. Debit fluida yang semakin membesar mengakibatkan fluida sulit ditembus oleh udara, sehingga gelembung menumpuk pada *mixer*. Ketika udara yang terkumpul sudah makin banyak dan kuat untuk mendorong fluida cair, aliran *plug* muncul terlebih dahulu yang diikuti aliran *bubble* yang banyak.

Tabel 4.3. Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G tetap 0,025 m/s dan nilai J_L bervariasi.

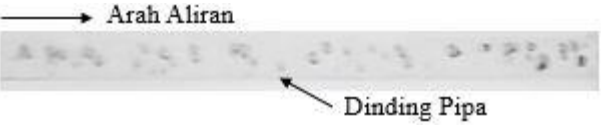

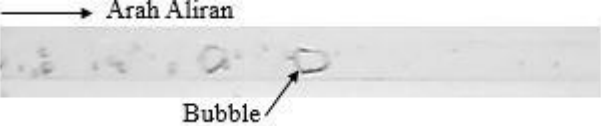
NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,879 m/s	
2	2,297 m/s	
3	4,935 m/s	

Pola aliran *bubble* mulai muncul penuh ketika nilai J_L tinggi namun semakin bertambahnya nilai J_L maka bentuk dari *bubble* mulai mengecil dan semakin tidak beraturan. Dapat dilihat pada tabel 4.3 saat nilai J_G tetap 0,025 m/s dan nilai J_L

dibuat bervariasi meningkat, pada nilai J_L 0,879 m/s *bubble* mulai terlihat tetapi jumlahnya masih sedikit.

Pada nilai J_L 2,297 m/s jumlah *bubble* yang muncul relatif banyak dan bentuknya mulai tidak beraturan. Fenomena ini juga terjadi pada nilai J_L 4,935 m/s *bubble* yang muncul ukuran dan bentuknya mulai tidak beraturan dan sangat kecil, hal ini disebabkan karena semakin tinggi nilai J_L maka gas akan sulit untuk menembus fluida cair sehingga ketika gas dapat menembus fluida cair maka gas yang keluar dari *mixer* akan bergerombol dan terpotong-potong menjadi kecil.

Tabel 4.4. Perbandingan pola aliran *bubble* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 2,297 m/s.

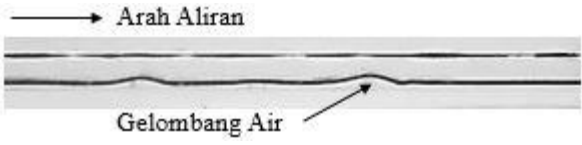
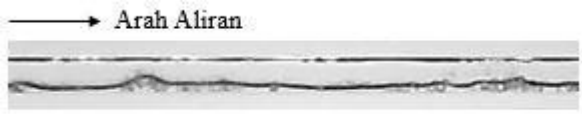
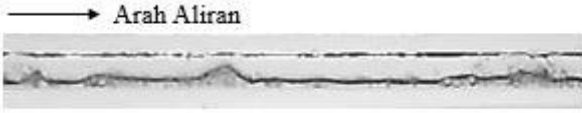
NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,116 m/s	
2	0,207 m/s	
3	0,423 m/s	

Hasil pengamatan yang dilakukan memiliki perbandingan bentuk pola *bubble* dengan $J_L = 2,297$ m/s dengan J_G bervariasi yang ditunjukkan pada tabel 4.4. Pada saat *bubble* berada pada J_G 0,116 m/s terlihat bahwa jumlah *bubble* yang banyak dan berukuran kecil dengan naiknya kecepatan superficial udara pada $J_G = 0,207$ m/s terlihat jumlah *bubble* yang meningkat dan ukuran *bubble* yang semakin kecil, selanjutnya pada $J_G = 0,423$ m/s terlihat bahwa ukuran *bubble* semakin tidak beraturan dan jarak antar *bubble* mulai berjauhan jumlah *bubble* semakin berkurang.

4.1.3. Pola Aliran *Slug Annular*

Pola aliran *slug annular* memiliki aliran air yang bergelombang pada bagian bagian bawah. Terbentuknya pola aliran *slug annular* ketika kecepatan superfisial udara naik menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh air berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran *slug annular*.

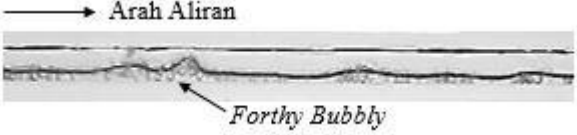


Tabel 4.5. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G tetap 0,7 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

Hasil pengamatan pada koordinat nilai $J_G = 0,7$ m/s dan nilai J_L dibuat variasi secara meningkat berpengaruh pada semakin bertambahnya nilai J_L membuat kemunculan gelombang yang semakin banyak dan hampir mencapai setengah diameter pipa. Hal ini disebabkan bertambahnya nilai J_L yang membuat bertambahnya volume fluida cair yang masuk ke *mixer* sehingga dapat membuat bertambahnya tinggi gelombang dan bertambahnya jumlah kemunculan gelombang yang terdapat pada pola aliran *slug annular*. Seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair gelombang pada bagian bawah pipa semakin tinggi tetapi belum mampu memutus aliran udara, akan tetapi setiap naiknya nilai kecepatan superfisial cair maka aliran *slug-annular* mulai diikuti oleh *forthy bubbly* dan volume dari

forthy bubbly ini meningkat seiring dengan naiknya kecepatan superfisial cair terdapat di bagian bawah pipa yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.6. Perbandingan pola aliran *slug annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,091 m/s.

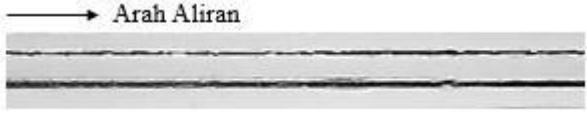
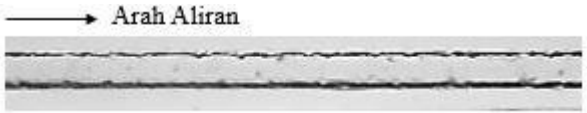
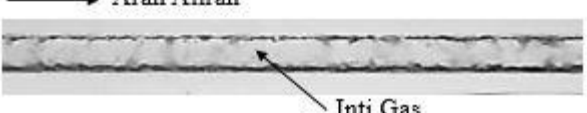
NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	4,238 m/s	
2	7 m/s	
3	9,620 m/s	

Dalam setiap kenaikan nilai kecepatan superfisial udara, gelombang yang terlihat pada bagian bawah pipa menjadi semakin sedikit ini diakibatkan oleh aliran air yang berusaha memutus aliran udara namun tidak mampu memutusnya diakarenakan kecepatan aliran udara yang semakin tinggi yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

4.1.4. Pola Aliran *Annular*

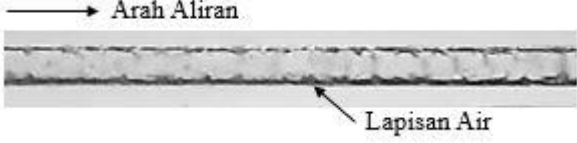
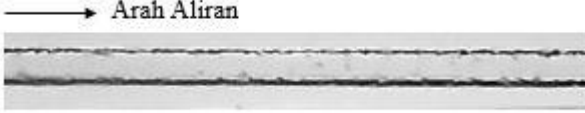

Pola aliran *annular* seperti pola aliran *slug annular* yang memiliki gelombang kecil yang lebih banyak yang terdapat pada bagian atas dan bawah *liquid film*. Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan lebih jelas aliran *annular* memiliki gelombang kecil dibagian atas dan bawah yang bergerak cepat.

Tabel 4.7. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G tetap 50 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,033 m/s	
2	0,091 m/s	
3	0,149 m/s	

Pada tabel 4.7. dimana pada nilai J_G yang dibuat tetap 50 m/s dan nilai J_L dibuat bervariasi meningkat berpengaruh pada semakin bertambahnya nilai J_L membuat kemunculan gelombang kecil yang berada pada bagian bawah *liquid film* semakin tidak beraturan, hal tersebut dikarenakan semakin bertambahnya volume cairan yang berada pada *mixer* membuat udara yang berhasil menembus cairan kemudian menekan cairan sehingga semakin banyak cairan yang masuk membuat gelombang kecil yang semakin banyak.

Tabel 4.8. Perbandingan pola aliran *annular* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,149 m/s.

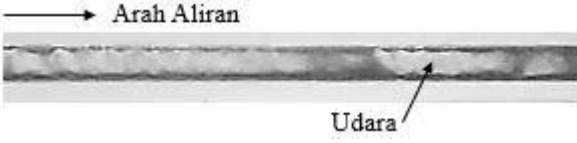

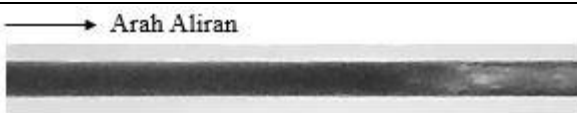
NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	50 m/s	
2	58,05 m/s	
3	66,3 m/s	

Pada tabel 4.8. dimana pada nilai J_L yang dibuat tetap 0,149 m/s dan nilai J_G dibuat bervariasi meningkat berpengaruh pada semakin bertambahnya nilai J_G maka akan membuat gelombang tenang yang berada pada bagian bawah *liquid film* akan semakin sedikit hal ini dikarenakan semakin bertambahnya volume gas pada *mixer* akan membuat gas yang menekan cairan sehingga bertambahnya fluida gas membuat cairan semakin tertekan dan membuat gelombang akan semakin tenang.

4.1.5. Pola Aliran *Churn*


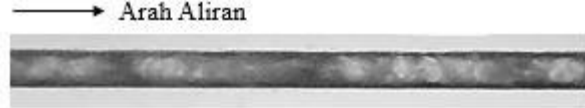
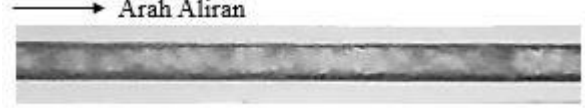
Pola aliran *churn* muncul ketika nilai J_G dan J_L sama-sama tinggi, Pola aliran *churn* berbentuk seperti aliran *plug* yang ekornya diikuti oleh gelembung-gelembung kecil yang bergerak sangat cepat hal ini disebut area *disruptive*, hal tersebut terjadi dikarenakan fluida cair terpecah menjadi kecil-kecil. Pola aliran *churn* yang muncul pada garis transisi antara *slug-annular* terdapat gelombang yang berada pada *liquid film* yang dibagian ekornya terdapat gelembung-gelembung kecil yang mengalir sangat cepat.

Tabel 4.9. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G tetap 22,6 m/s dan nilai J_L bervariasi.

NO	J_L	GAMBAR POLA ALIRAN
1	0,539 m/s	
2	0,897 m/s	
3	4,935 m/s	

Pada tabel 4.9 dapat dilihat bahwa pola aliran *churn* yang dibuat tetap pada $J_G = 22,6$ m/s dan J_L dibuat bervariasi meningkat akan mempengaruhi kemunculan bayangan hitam yang berada pada aliran *churn* yang semakin banyak hal ini dikarenakan semakin bertambahnya volume air yang terdapat pada *mixer* sehingga membuat udara akan sulit untuk keluar, ketika udara dapat menembus cairan maka udara tersebut akan terpotong-potong menjadi kecil atau terpecah sehingga muncul bayangan hitam yang sangat banyak.

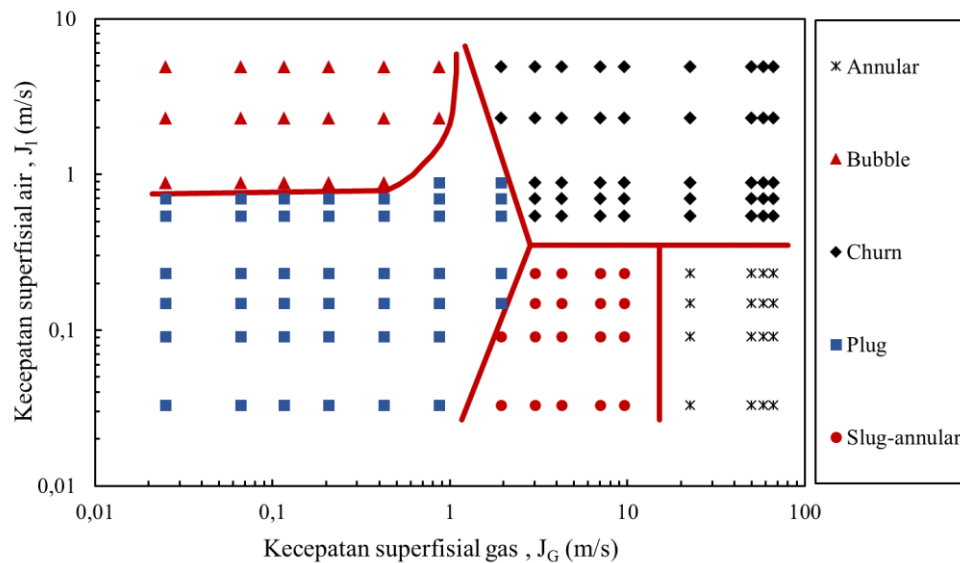
Tabel 4.10. Perbandingan pola aliran *churn* dengan konsentrasi butanol 3%, dengan nilai J_G bervariasi dan nilai J_L tetap 0,7 m/s.

NO	J_G	GAMBAR POLA ALIRAN
1	22,6 m/s	
2	50 m/s	
3	58,05 m/s	

Pola aliran *churn* yang semula didominasi oleh bayangan hitam seriing semakin meningkatnya nilai J_G dan nilai J_L dibuat tetap maka bayangan hitam yang terdapat pada aliran *churn* tersebut akan semakin berkurang, hal ini ditunjukkan oleh tabel 4.10 terlihat bahwa bayangan hitam mulai berkurang.

4.2. Peta Pola Aliran

Pola aliran yang telah diamati dan diidentifikasi kemudian dibuat sebuah peta pola aliran yang berguna untuk menentukan berapa kecepatan superfisial gas dan cair untuk membentuk pola aliran. Sumbu x pada peta pola aliran digunakan untuk kecepatan superfisial gas, sedangkan sumbu y digunakan untuk kecepatan superfisial cair. Nilai minimum sumbu x yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 100, sedangkan untuk nilai minimum sumbu y yaitu 0,01 dan nilai maksimumnya 10. Pada peta aliran dapat ditentukan daerah transisi dan analisis mengenai daerah transisi yang terjadi. Berikut gambar peta pola aliran yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



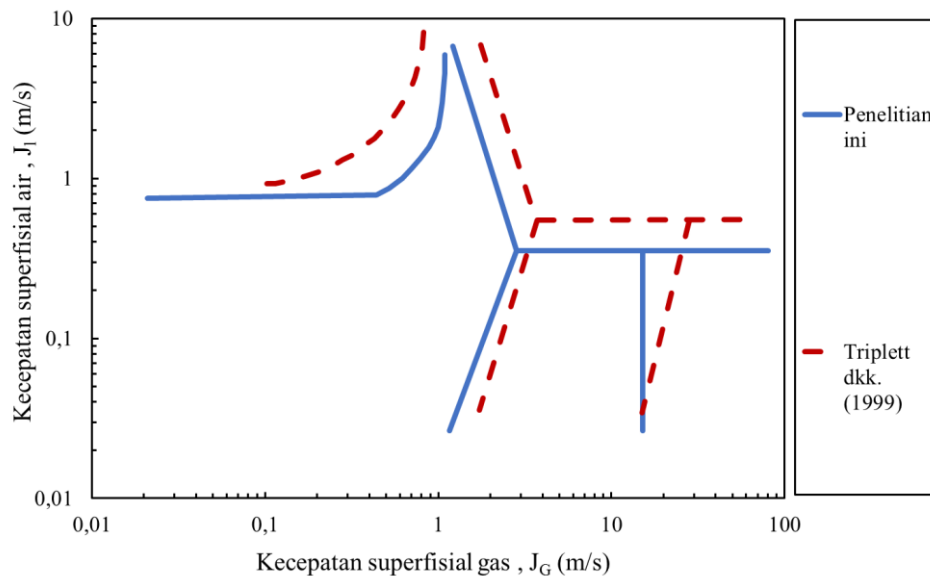
Gambar 4.1. Peta pola aliran butanol 3%

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa pola aliran *plug* dan pola aliran *Annular* lebih banyak dari pola aliran yang lainnya yang terdapat pada peta pola aliran ini. Pada posisi bagian sebelah kiri atas peta terdapat pola aliran *bubble* terdapat pada $J_G = 0,025 - 0,871$ m/s dan $J_L = 0,879 - 4,935$ m/s. Pada bagian kiri bawah peta ditempati oleh pola aliran *plug*, pola aliran *plug* ini mulai terbentuk pada $J_G = 0,025 - 1,941$ m/s dan $J_L = 0,033 - 0,879$ m/s pola aliran *plug* terbentuk hingga mencapai garis batas transisi dengan pola aliran *slug-annular* disebelah kanan bawah aliran *plug*. Aliran *slug-annular* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial cairan di naikan pada kondisi $J_G = 1,941 - 9,62$ m/s dan $J_L = 0,033 - 0,232$ m/s pola aliran *slug-annular* berbatasan dengan aliran *churn* dan *annular*. Pada posisi sebelah kanan bawah ditempati oleh pola aliran *annular*, dimana pada kecepatan superfisial udara sangat tinggi yaitu $J_G = 22,6 - 66,3$ m/s $J_L = 0,033 - 0,232$ m/s. Sedangkan pola aliran *churn* terdapat pada bagian kanan atas berada pada kecepatan superfisial udara dan cairan yang tinggi yaitu $J_G = 1,941 - 66,3$ m/s $J_L = 0,539 - 4,935$ m/s.

4.3. Perbandingan Peta Pola Aliran dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan peta pola aliran yang didapat dari hasil penelitian dengan penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui perbedaan garis transisi yang disebabkan oleh perbedaan jenis fluida, viskositas cairan dan tegangan permukaan

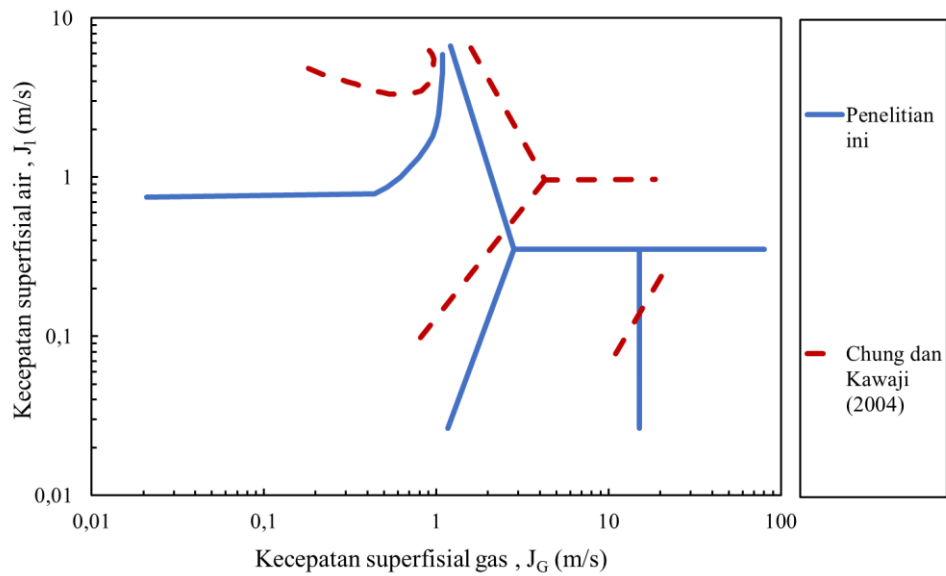
yang telah dilakukan oleh penelitian terdahulu. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan terdahulu antara lain : Triplett dkk. (1999) dan Chung dan Kawaji (2004).



Gambar 4.2. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Triplett dkk. (1999).

Dapat dilihat pada gambar 4.2. garis transisi penelitian hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Triplett dkk. (1999). Pada penelitian ini menggunakan saluran pipa mini horisontal dengan diameter dalam pipa 1,6 mm dengan menggunakan fluida kerja yaitu air-udara dan campuran butanol 3% dengan variasi sudut kemiringan pipa 5° , sedangkan pada penelitian Triplett dkk. (1999) saluran yang digunakan *mikro sirkular* dengan diameter 1,097 mm dengan fluida kerja yang digunakan yaitu air dan udara. Perbedaan metode pada penelitian ini dengan Triplett dkk. (1999) terletak pada fluida kerja dan ukuran saluran pipa. Pola aliran yang terbentuk pada penelitian ini sama dengan penelitian Triplett dkk (1999) yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Pada garis transisi *bubbly* terjadi pergeseran kebawah dikarenakan pola aliran *bubbly* lebih banyak, sedangkan pada penelitian Triplett dkk. (1999) pola aliran *plug* lebih mendominasi dikarenakan dapat dilihat pada gambar 4.2. garis transisi *annular*, *churn* dan *slug annular* pada penelitian mengalami pergeseran kebawah. Pergeseran yang terjadi

akibat pengaruh fluida kerja yang digunakan karena pada penelitian ini menggunakan campuran butanol 3%.



Gambar 4.3. Perbandingan peta pola aliran hasil penelitian dengan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004).

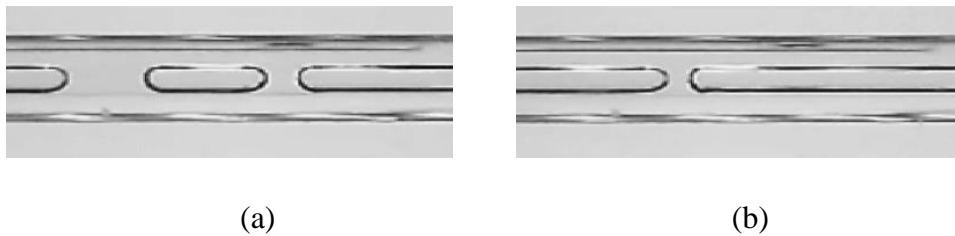
Perbandingan peta pola aliran Chung dan Kawaji (2004) dapat dilihat pada gambar 4.3. posisi garis transisi berbeda dari hasil penelitian dikarenakan pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) menggunakan campuran gas nitrogen dan air, sedangkan pada penelitian ini menggunakan udara-air dan campuran butanol 3%. Pola aliran yang didapatkan yaitu : *annular*, *bubbly*, *churn*, *plug* dan *slug annular*. Dapat dilihat pada gambar 4.3 garis transisi *bubbly* pada penelitian Chung dan Kawaji (2004) lebih keatas dibandingkan pada penelitian hal ini dikarenakan jumlah *bubbly* pada penelitian ini lebih mendominasi dan garis transisi antara *annular*, *churn* dan *slug annular* mengalami pergeseran ke atas dibanding dengan penelitian ini hal ini dikarenakan pada penelitian Chung dan Kawaji pola aliran yang mendominasi adalah *plug*.

4.4. Fraksi Hampa (*Void Fraction*)

Fraksi hampa dilakukan pada posisi 26 piksel (6,879 mm) dari sebelah kiri (sisi inlet). Hasil *time-average* fraksi hampa kemudian diolah untuk menentukan nilai *Probability Distribution Function* (PDF) sebagai fungsi ε (-).

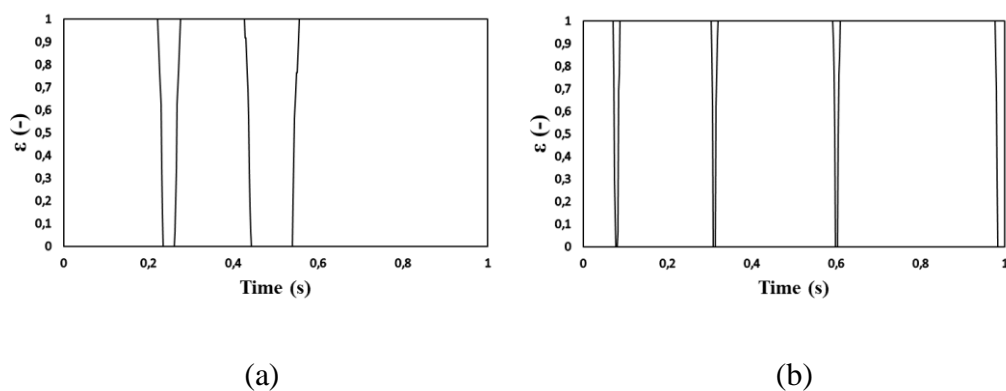
4.4.1. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Plug*

Pola aliran *plug* terbentuk pada saat kecepatan superfisial gas cukup besar menembus suatu aliran fluida cair yang ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.4. Pola aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

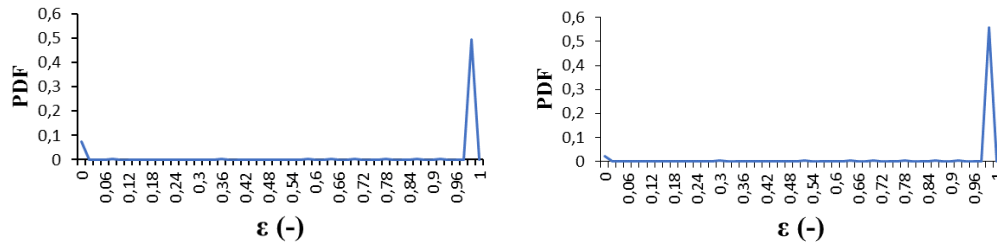
Pada gambar 4.1. terdapat dua jenis *plug* yaitu *plug* panjang dan *plug* pendek pada *plug* pendek jarak antara *nose* dan *tail* saling berjauhan berbeda dengan *plug* panjang jarak antara *nose* dan *tail* saling berdekatan.



Gambar 4.5. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Grafik *time-average* aliran *plug* yang ditunjukkan pada gambar 4.2. yang berada pada variabel (a) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,232$ m/s, dan (b) $J_G = 0,871$ m/s, J_L

= 0,232 m/s, nilai fraksi hampa pada pola aliran *plug* mencapai 1 karena pola aliran *plug* memenuhi dinding pipa yang merupakan fase udara.



(a)

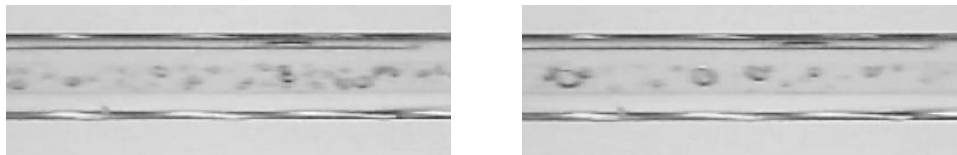
(b)

Gambar 4.6. PDF aliran *plug* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s, dan (b) $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s

Pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *plug* yaitu 1 dengan nilai probabilitas 0,54 dan pada $J_G = 0,207$ m/s, $J_L = 0,149$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 1 dengan nilai probabilitas 0,57 dikarenakan pola aliran *plug* yang muncul banyak dan panjang seperti ditunjukkan pada gambar 4.3.

4.4.2. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Bubble*

Terbentuknya pola aliran *bubble* terbentuk ketika nilai kecepatan superfisial udara lebih rendah dari kecepatan superfisial cairan yang ditunjukkan pada gambar 4.7.

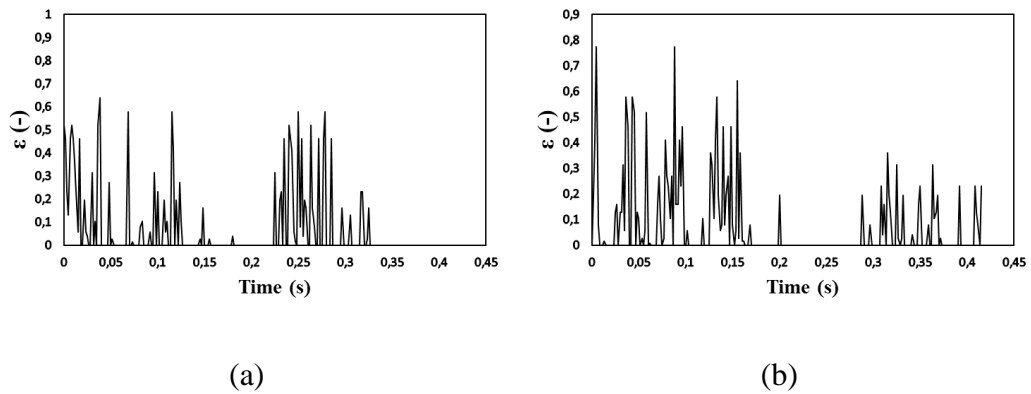


(a)

(b)

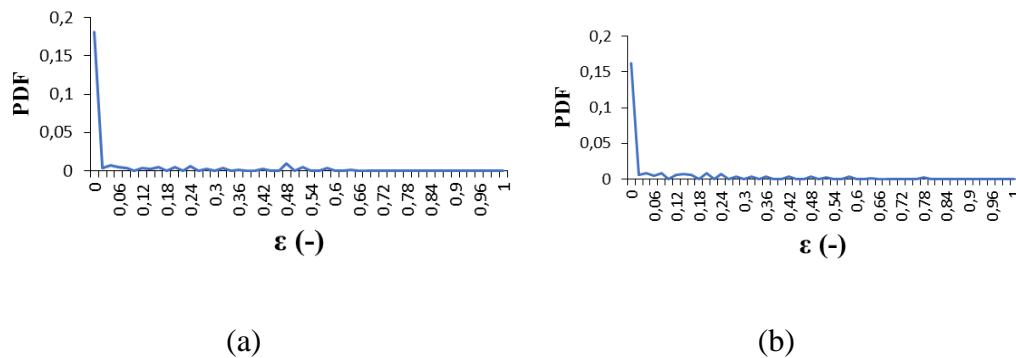
Gambar 4.7. Pola aliran *bubble* pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Dilihat pada gambar 4.7. semakin besar nilai J_G maka bubble yang terbentuk akan semakin besar tetapi pola alirannya tidak beraturan.



Gambar 4.8. *Time-Average* fraksi hampa pada pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Pada gambar 4.8. yang menunjukkan grafik *time-average* bahwa semakin tinggi nilai J_G maka frekuensi pola aliran akan semakin tinggi dikarenakan jika jumlah J_G tinggi udara yang masuk semakin banyak.

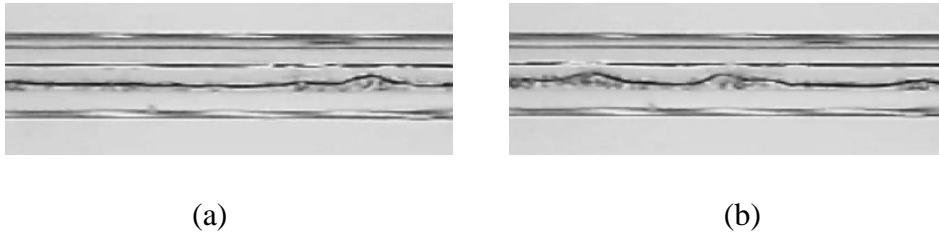


Gambar 4.9. PDF aliran *bubble* pada pada (a) $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s, dan (b) $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s

Pada $J_G = 0,066$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *bubble* yaitu 0 dengan nilai probabilitas 0,18 dan pada $J_G = 0,116$ m/s, $J_L = 2,297$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0 dengan nilai probabilitas 0,17 yang ditunjukkan pada gambar 4.6.

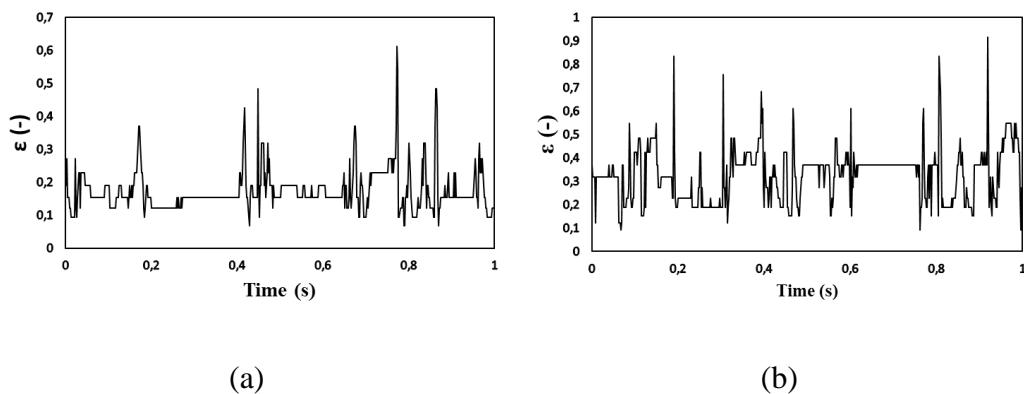
4.4.3. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran Slug-Annular

Pola aliran *slug annular* terbentuk ketika kecepatan superfisial udara naik menyebabkan pola aliran *plug* yang terpisah oleh air yang berhasil diterobos oleh udara sehingga terbentuk aliran *slug annular* yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



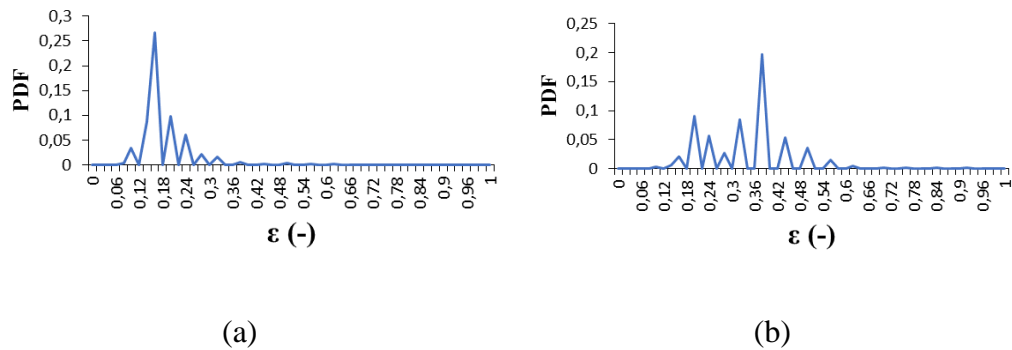
Gambar 4.10. Pola aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, dan (b) $J_G = 3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Pada gambar 4.7. terdapat *liquid neck* yang disertai *forthy bubbly* yang disebabkan oleh aliran air yang berusaha memotong aliran udara namun aliran air tidak mampu memotongnya.



Gambar 4.11. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,033 \text{ m/s}$, dan (b) $J_G = 3 \text{ m/s}$, $J_L = 0,091 \text{ m/s}$

Pada gambar 4.8. menunjukkan nilai fraksi hampa mengalami penurunan seiring terjadinya *liquid neck* pada pola aliran.

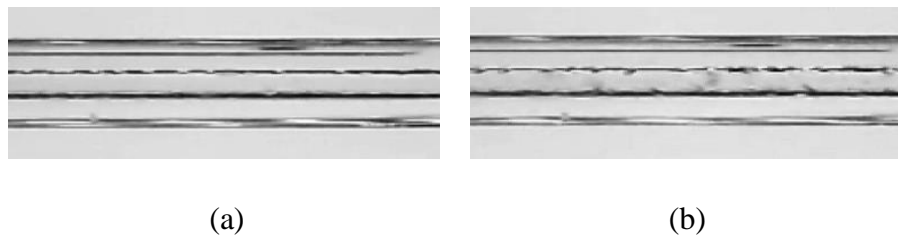


Gambar 4.12. PDF aliran *slug-annular* pada (a) $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

Pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *slug-annular* yaitu 0,15 dengan nilai probabilitas 0,27 dan pada $J_G = 3$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,08 dengan nilai probabilitas 0,24 dikarenakan munculnya *liquid neck* yang ditunjukkan pada gambar 4.9.

4.4.4. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Annular*

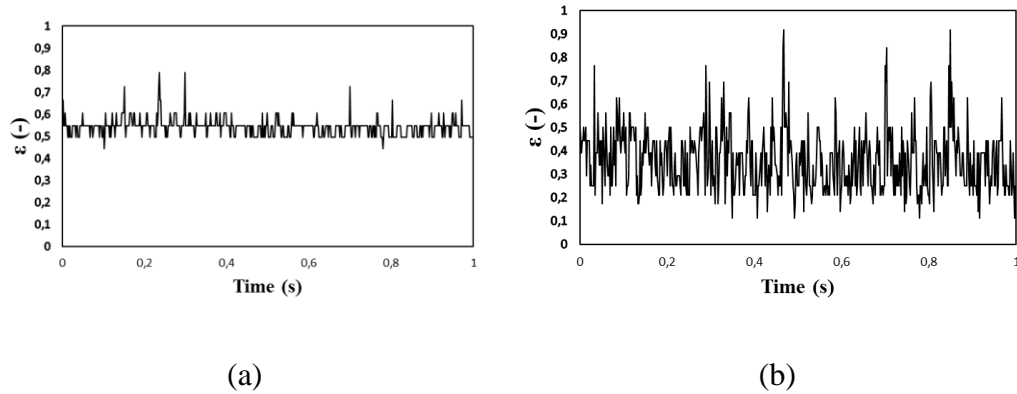
Aliran *annular* terlihat seperti aliran yang tenang, padahal jika diamati dengan seksama, aliran annular memiliki gelombang kecil dibagian atas dan bawah yang bergerak cepat yang ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.13. Pola aliran *annular* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

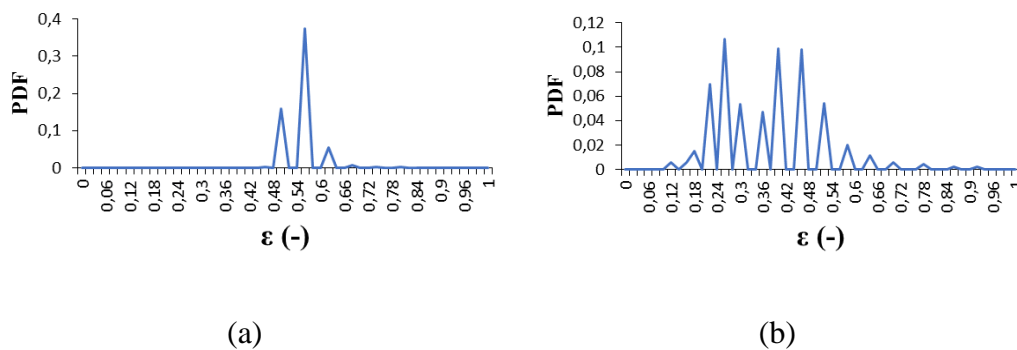
Pada gambar 4.10 terlihat perbedaan pada J_L secara teori jika J_L lebih kecil maka lapisan film cairan akan lebih tipis, sedangkan jika J_L lebih besar maka lapisan

film cairan akan lebih tebal. Hal ini disebabkan karena semakin besar J_L maka bertambahnya volume cairan yang membuat lapisan film akan lebih tebal.



Gambar 4.14. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

Seperti yang terlihat pada gambar 4.11. adanya penurunan pada grafik fraksi hampa *annular* tetapi penurunan tersebut tidak terlalu signifikan.

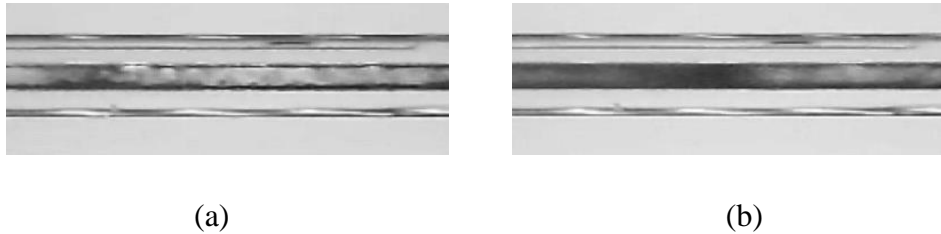


Gambar 4.15. PDF aliran *annular* pada (a) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s, dan (b) $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s

Pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,033$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *annular* yaitu 0,57 dengan nilai probabilitas 0,38 dan pada $J_G = 50$ m/s, $J_L = 0,091$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,26 dengan nilai probabilitas 0,1 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.12.

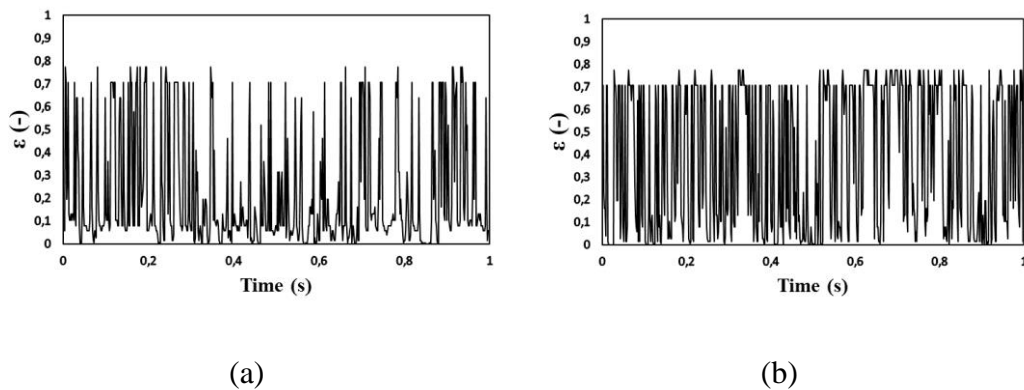
4.4.5. Fraksi Hampa untuk Pola Aliran *Churn*

Pola aliran *churn* mulai muncul ketika nilai J_G dan J_L sama-sama tinggi yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



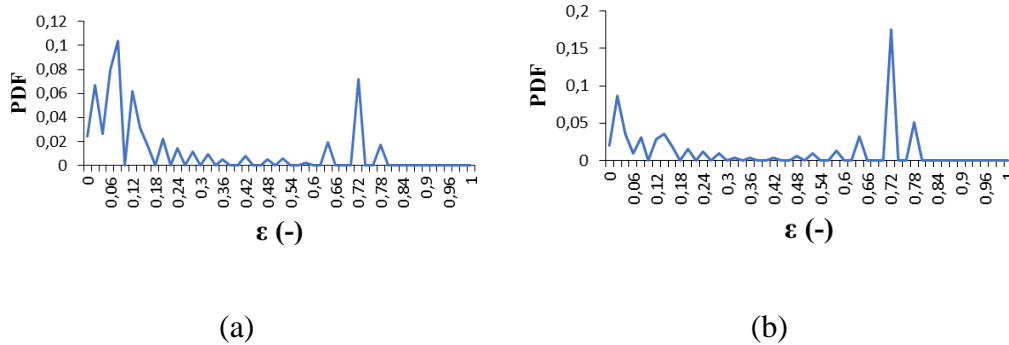
Gambar 4.16. Pola aliran *churn* pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, dan (b) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Pola aliran churn mengalami distorsi semakin tinggi J_L distorsi yang muncul akan semakin besar yang ditunjukkan pada gambar 4.13.



Gambar 4.17. *Time-Average* fraksi hampa pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, dan (b) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Kenaikan kecepatan superfisial gas (J_G) sangat mempengaruhi besarnya distorsi yang muncul jika pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s distorsi yang muncul masih kecil, sedangkan pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s distorsi yang muncul cukup besar dan panjang seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14.



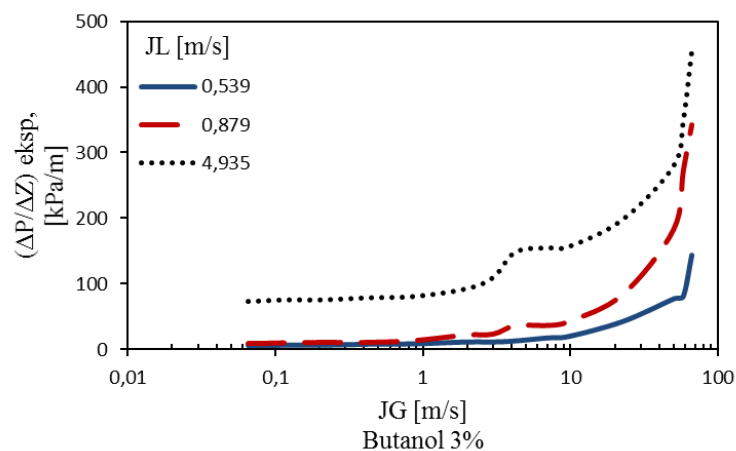
Gambar 4.18. PDF aliran *churn* pada (a) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s, dan (b) $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s

Pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,539$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan pada pola aliran *churn* yaitu 0,06 dengan nilai probabilitas 0,1 dan pada $J_G = 22,6$ m/s, $J_L = 0,7$ m/s nilai fraksi hampa yang lebih dominan yaitu 0,72 dengan nilai probabilitas 0,2 yang ditunjukkan pada gambar 4.15.

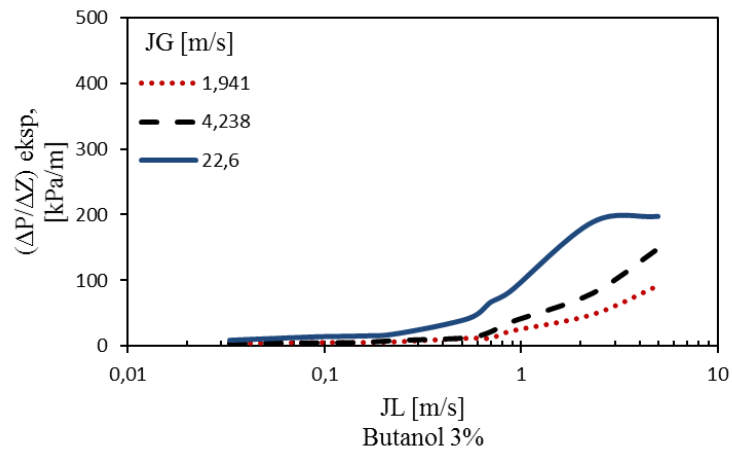
4.5. Gradien Tekanan

Pada penelitian ini data yang diambil yaitu penurunan tekanan tiap satuan panjang (gradien tekanan). Data gradien tekanan diambil menggunakan sensor *MPX System* yang telah dipasang dan data disambungkan ke komputer.

4.5.1 Pengaruh Kecepatan Superfisial Terhadap Gradien Tekanan pada Aliran Dua Fase Udara-Air dan Butanol 3%



(a)



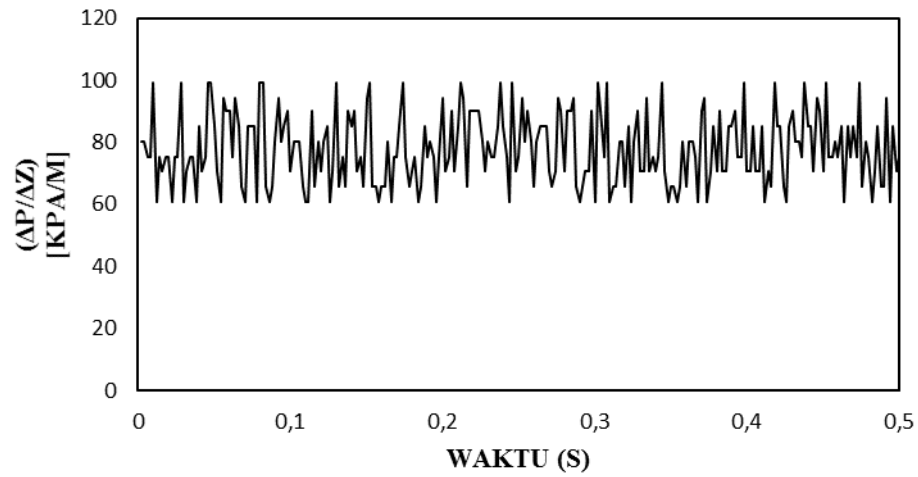
(b)

Gambar 4.19. (a) Pengaruh J_G terhadap gradien tekanan dengan variasi J_L , (b) Pengaruh J_L terhadap gradien tekanan dengan variasi J_G

Pada penelitian ini kecepatan superfisial *gas* (J_G) dan kecepatan superfisial *liquid* (J_L) dibuat bervariasi untuk mengetahui pengaruh yang terjadi akibat kenaikan maupun penurunan kecepatan superfisial terhadap gradien tekanan. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari perubahan kecepatan superfisial terhadap nilai gradien tekanan.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. (a) dan 4.2. (b) jika kecepatan superfisial *gas* (J_G) mengalami peningkatan maka nilai dari gradien tekanan juga akan meningkat dan jika kecepatan superfisial *liquid* (J_L) mengalami peningkatan maka nilai gradien tekanan juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena kenaikan J_G dan J_L akan menaikkan superfisial total dari aliran fluida (*total volumetric flux*) yang berpengaruh pada kenaikan gradien tekanan secara signifikan.

4.5.2. Gradien Tekanan Terhadap Waktu



Gambar 4.20. Pengaruh gradien tekanan terhadap waktu dengan butanol 3% pada $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s

Gambar 4.2. menunjukkan grafik data time series pada $J_G = 3$ m/s dan $J_L = 2,297$ m/s yang membandingkan antara nilai gradien tekanan terhadap waktu yang diambil selama 5 detik yang memiliki nilai rata-rata 80,231 kPa/m.